System Engineering and Productivity/ 2024/ Vol.4/ No.2/ 1-15

System Engineering and Productivity

DOI: 10.22034/msb.2024.2027320.1209

Evacuation Planning with Optimal Location of Shelters During an Accident by Prioritizing Affected People Based on Physical Condition: A Case Study in District 6 of Tehran

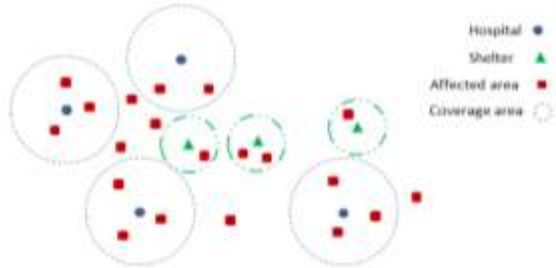
Samaneh Gheysarieh [1], Jafar Bagherinejad [2*], Mahnaz Shoeib [1]

[1] M.Sc., Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Al-Zahra University, Tehran, Iran
[2] Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Al-Zahra University, Tehran, Iran

HIGHLIGHTS

- A model for earthquake crisis management is presented.
- The evacuation planning for injured individuals during an incident is carried out by prioritizing their medical condition.
- The case study on the evacuation planning of affected individuals in Tehran has been conducted.

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Article history:
Article Type: Research paper
Received: 20 August 2023
Received in revised form: 5 March 2024
Accepted: 1 July 2024
Available Online: 21 September 2024
*Correspondence:
jbagheri@alzahra.ac.ir

How to cite this article:
Gheysarieh. S., Bagherinejad. J., Shoeib. M. (2024). Evacuation Planning with optimal location of shelters during an accident by prioritizing affected people based on physical condition: a case study in District 6 of Tehran. *Journal of System Engineering and Productivity*, 4(2), 1-15.

Keywords:
Evacuation planning
Temporary shelter
Location-allocation model
Crisis management
Shelter location

ABSTRACT

Natural disasters and crises have always existed in human history and humans have always been affected by them. Given that most financial and human losses are irreparable, planning should be done before the event on how to evacuate people and allocate them to shelters and hospitals. In most studies, the type of injured people has not been considered in the evacuation operation. In this study, by considering the priority of the physical condition of the injured, a nonlinear planning model for earthquake crisis management in the preparedness and response phase is presented. In this model, the injured people are divided into three groups in terms of physical condition. Also, two types of vehicles are considered for the transportation of the first and second groups, which have suffered severe injuries and ambulatory injuries, respectively. Validation was performed using the sensitivity analysis method. The non-dominated sorting genetic algorithm was used in this study to solve the proposed problem. This model was implemented using the proposed algorithm in a real study in District Six of Tehran. The results show that hospitals and shelters were allocated to areas with the least cost.

Publisher: University of Eyvanekey

مهندسی سیستم و بهره‌وری/ سال ۱۴۰۳/ دوره ۴/ شماره ۲/ صفحه ۱-۱۵

نشریه مهندسی سیستم و بهره‌وری

DOI: 10.22034/msb.2024.2027320.1209

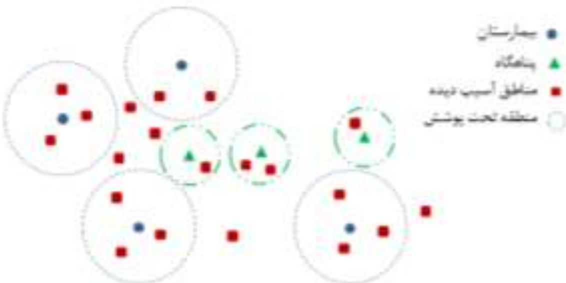
برنامه‌ریزی تخلیه با مکان‌یابی بهینه پناهگاه‌ها در زمان بروز حادثه با اولویت‌بندی مردم آسیب‌دیده بر اساس وضعیت جسمی: مطالعه موردی منطقه شش تهران

سمانه قیصریه [1]، جعفر باقری‌نژاد [2]*، مهناز شعیب [2]

[1] کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه الزهراء (س)، تهران، ایران

[2] استاد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه الزهراء (س)، تهران، ایران

چکیده گرافیکی



برجسته‌ها

- مدلی برای مدیریت بحران زلزله ارائه می‌شود.
- برنامه‌ریزی تخلیه افراد آسیب‌دیده در زمان بروز حادثه با اولویت‌بندی وضعیت جسمانی انجام می‌شود.
- مطالعه موردی برنامه‌ریزی تخلیه افراد آسیب‌دیده در تهران انجام‌شده است.

چکیده

بحران‌ها و بلایای طبیعی همیشه در تاریخ بشر وجود داشته و انسان‌ها همواره تحت تأثیر آن‌ها قرار دارند. با توجه به جبران‌ناپذیر بودن بیشتر خسارت‌های مالی و جانی، باید قبل از وقوع حادثه برنامه‌ریزی‌هایی در زمینه نحوه تخلیه مردم و تخصیص آن‌ها به پناهگاه‌ها و بیمارستان‌ها انجام شود. در اکثر مطالعات، نوع مجروحین در عملیات تخلیه موردتوجه قرار نگرفته است. در این پژوهش با در نظر گرفتن اولویت وضعیت جسمانی مجروحین، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی برای مدیریت بحران زلزله در فاز آمادگی و پاسخ ارائه شده است. در این مدل، مردم آسیب‌دیده به سه گروه ازنظر وضعیت جسمانی تقسیم‌بندی می‌شوند. همچنین دو نوع وسیله نقلیه برای جابه‌جایی گروه اول و دوم که به ترتیب دچار آسیب شدید و آسیب سرپایی شده‌اند، در نظر گرفته‌شده است. اعتبارسنجی به روش تحلیل حساسیت انجام‌شده است. الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب در این پژوهش برای حل مسئله پیشنهادی استفاده شد. این مدل با استفاده از الگوریتم پیشنهادی در یک مطالعه واقعی در منطقه شش شهر تهران اجراشده است. نتایج نشان می‌دهد تخصیص بیمارستان‌ها و پناهگاه‌ها به مناطق با حداقل هزینه صورت گرفته است.

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۹

بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵

پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۱

ارائه برخط: ۱۴۰۳/۰۶/۳۱

*نویسنده مسئول:

jbagheri@alzahra.ac.ir

کلیدواژه‌ها:

برنامه‌ریزی تخلیه

پناهگاه موقت

مکان‌یابی-تخصیص

مدیریت بحران

مکان‌یابی پناهگاه

۱- مقدمه

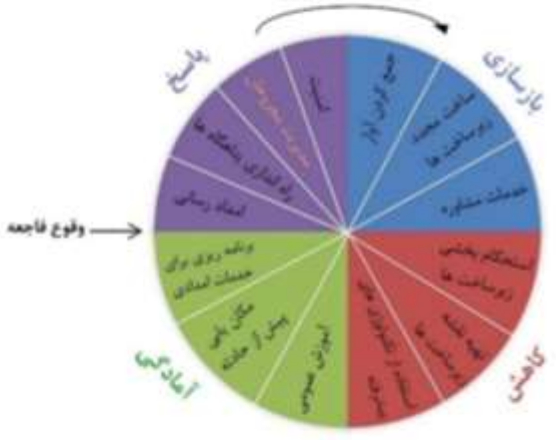
از زمان‌های بسیار قدیم تاکنون بشر با آتش‌سوزی، سیل، زلزله، طوفان، سونامی، اقدامات تروریستی و دیگر فجایعی که ممکن است همه‌ساله در مناطق شهری و غیرشهری رخ دهد، درگیر بوده و باعث ایجاد نگرانی‌های زیادی برایش شده است. بر اساس آمار اعلام‌شده توسط مرکز تحقیقات اپیدمیولوژی بلایای طبیعی در شکل **۱**، تعداد حوادث طبیعی اتفاق افتاده در سال ۲۰۲۰ بیشتر از میانگین تعداد حوادث سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ می‌باشد. آمار منتشرشده بیان‌کننده این است که از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۹، بیش از ۴/۴ میلیارد نفر در بلایای طبیعی آسیب، ۱/۳ میلیون نفر فوت، ۲ تریلیون دلار خسارت اقتصادی ایجادشده است. همچنین ۴۱٪ از بلایا و ۶۴٪ از کل افراد آسیب‌دیده در قاره آسیا گزارش‌شده است. کلیه آماری که از وقوع بلایای طبیعی و پیامدهای مالی و انسانی آن‌ها منتشرشده، نشان از لزوم آماده شدن در برابر بحران و مدیریت پیامدهای آن به ویژه در کشوری پرخطر مانند ایران دارد.



شکل (۱): تعداد حوادث طبیعی از ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰.

آمارها حاکی از آن است که یکی از بیشترین بلاهای طبیعی که در ایران رخ داده، زمین‌لرزه است. با توجه به موقعیت خاص شهر تهران در سیستم اقتصادی، اجتماعی و سیاسی کشور وقوع هر حادثه‌ای، هرچند کوچک می‌تواند تأثیرات عمده‌ای در سطح ملی داشته باشد. در این میان وجود گسل‌های کهریزک، شمال تهران، نیاوران و گسل ری در شهر تهران، وقوع زلزله را محتمل می‌سازد؛ بنابراین باید جهت جلوگیری یا کاهش این خسارات، از قبل برنامه‌ریزی‌هایی انجام شود.

مدیریت بحران (Balcik & Beamon, 2008) به مجموعه‌ای از عملیات و فرآیندهای مشخص گفته می‌شود که برای جلوگیری و کاهش اثرات بحران در قبل، در حین وقوع و بعدازآن برنامه‌ریزی می‌شوند. فعالیت‌های مدیریت بحران ازلحاظ زمانی، به سه قسمت فعالیت‌های پیش از وقوع بحران، زمان وقوع بحران و پس از وقوع بحران تقسیم می‌شود. بحران‌ها معمولاً از طریق یک چرخه چهار فرآیند شامل کاهش، آمادگی، پاسخ و بازسازی مدیریت می‌شوند. دو مرحله اول قبل از فاجعه و دو مرحله بعدازآن اتفاق می‌افتد. چرخه مدیریت بحران و فازهای آن در شکل **۲** نشان داده‌شده است.

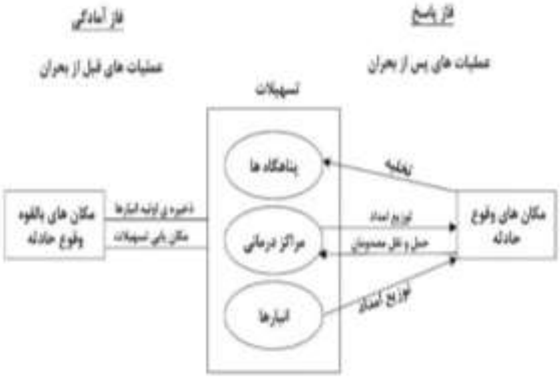


شکل (۲): چرخه مدیریت بحران (Rolka, 2018).

مدیریت لجستیک امدادرسانی بلایا به‌عنوان یک مسئله در سطح جهان مطرح‌شده است تا به کاهش پیامدهای یک فاجعه کمک کند. مکان‌یابی تسهیلات و میزان ذخیره امداد ازجمله فعالیت‌هایی است که در مرحله قبل از وقوع بلایای طبیعی موردتوجه قرار می‌گیرد. عملیات در مرحله واکنش به بلایا شامل دو هدف است. هدف اول انتقال افراد مجروحین از مناطق آسیب‌دیده به پناهگاه‌ها، بیمارستان‌ها و دیگر مراکز فوریت‌های پزشکی است و هدف دوم ارسال وسایل کمک‌رسانی از انبارها یا تأمین‌کنندگان از پیش تعیین‌شده به مناطق آسیب‌دیده است. عملیات برنامه‌ریزی تخلیه در ابتدای مرحله واکنش انجام می‌شود و افراد آسیب‌دیده را از مناطق آسیب‌دیده خارج می‌کند. برنامه‌ریزی مؤثر عملیات لجستیکی در مرحله پاسخ می‌تواند مرگ‌ومیر افراد را به میزان چشمگیری کاهش دهد. همچنین منابع و وسایل نقلیه موجود معمولاً ناکافی هستند، بنابراین مکان‌یابی تسهیلات و تخصیص بهینه آن‌ها می‌تواند خسارات مالی و جانی را کاهش دهد.

شکل **۳** نشان‌دهنده‌ی روابط و جریان‌ها بین تأسیسات و مکان‌های بلایای احتمالی، فعالیت‌های قبل و بعد از فاجعه هست. پیکان‌های شکل فوق نشان‌دهنده‌ی فعالیت‌ها و همچنین جهت جریان‌های اصلی مربوط به فعالیت‌ها

می‌باشد. پیکان‌های جهت‌دار شامل جریان تخلیه مردم، توزیع امداد با منابع و انتقال مصدومان می‌باشد. پیکان‌های غیر جهت‌دار جریان‌ها را نشان نمی‌دهند، بلکه بیان می‌کنند که بین یک فعالیت و انتهای متصل رابطه وجود دارد. به‌عنوان‌مثال، مکان تسهیلات و مقدار ذخیره انبارها بستگی به ویژگی‌های مختلف مکان‌های احتمالی بلایا (اندازه تقاضا، مکان وقوع بلایا) دارد. همچنین برنامه‌ریزی تخلیه جزو عملیات بعد از حادثه می‌باشد و جزو فاز پاسخ از چرخه مدیریت بحران می‌باشد (Caunhye et al., 2012). با توجه به خسارات جبران‌ناپذیر بلاهای طبیعی است لازم است برای به حداقل رساندن خسارت‌های مالی و جانی، پیش از وقوع حوادث برنامه‌ریزی‌هایی انجام شود. هرچند مجروحین ازنظر میزان جراحت وارده می‌توانند اولویت‌بندی شوند اما در اکثر مطالعات، نوع مجروحین در عملیات تخلیه موردتوجه قرار نگرفته است.

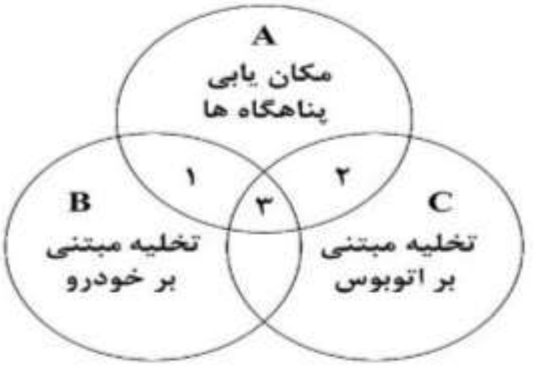


شکل (۳): چارچوب ارائه‌شده برای فعالیت‌های اصلی لجستیک امدادی و جریان‌های وابسته به آن (Caunhye et al., 2012).

۲- پیشینه پژوهش

درزمینه‌ی مدیریت بحران، محققان چندین مدل را برای مسائل مکان‌یابی پناهگاه و مسائل تخلیه، جداگانه یا به‌صورت یکپارچه پیشنهاد کرده‌اند. مسائل تخلیه به سه دسته مکان‌یابی پناهگاه، تخلیه توسط وسیله شخصی (مدل تخلیه وسایل نقلیه خصوصی) و تخلیه توسط اتوبوس (مدل تخلیه وسایل حمل‌ونقل عمومی) دسته‌بندی می‌شوند. مدل تخلیه وسایل نقلیه عمومی تمرکز روی بهینه کردن نقاط جمع‌آوری تخلیه افراد، انبارها به همراه مسیریابی اتوبوس‌ها می‌باشد. درحالی‌که در مدل تخلیه وسایل نقلیه خصوصی، مدیریت جریان ترافیک در اولویت بیشتری قرار دارد. تا سال ۲۰۱۱ اکثر مطالعات تخلیه با وسایل نقلیه شخصی (که اغلب به‌عنوان تخلیه مبتنی بر خودرو نامیده می‌شود) متمرکزشده است (Bayram, 2016). درحالی‌که مدل‌های تخلیه حمل‌ونقل عمومی (یا اتوبوس) تا سال فوق پراکنده‌تر و کمتر هستند. بعدازآن توجه بیشتری به ترکیب مسائل مکان‌یابی پناهگاه و مسائل تخلیه توسط اتوبوس شده است. مدل‌های ترکیبی می‌تواند به سه صورت باشد که در شکل **۴** نشان داده‌شده است:

۱) مکان‌یابی پناهگاه و تصمیمات تخلیه توسط خودرو شخصی
۲) مکان‌یابی پناهگاه و تصمیمات تخلیه توسط اتوبوس
۳) مکان‌یابی پناهگاه و مسائل مربوط به تخلیه توسط خودرو شخصی و اتوبوس



شکل (۴): ترکیبی از مسائل مکان‌یابی پناهگاه و مسائل تخلیه (Amideo et al., 2019).

به‌طور خلاصه می‌توان گفت قبل از سال ۲۰۱۱، تأکید اصلی بر مدل‌سازی مکان‌یابی پناهگاه و تخلیه مبتنی بر خودرو شخصی به‌عنوان مسائل جداگانه بوده است و تنها تعداد انگشت‌شماری از مدل‌ها این دو مسئله را ترکیب کرده‌اند. در سال ۲۰۱۱، اولین مقاله برای تخلیه مبتنی بر اتوبوس توسط بیش (Bish, 2011) معرفی شد، بنابراین توسعه مدل‌ها در سایر دسته‌های ترکیبی (۲ و ۳) امکان‌پذیر شد. بیش (Bish, 2011) یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای مسئله تخلیه اتوبوس ارائه داد، همچنین سعی کرد تفاوت بین مسئله تخلیه توسط خودروهای شخصی و تخلیه توسط اتوبوس‌ها را ارائه دهد. هدف اصلی از این مدل برای مسئله تخلیه اتوبوس به حداقل رساندن مدت‌زمان تخلیه است. او همچنین در این

مدل به دنبال پیدا کردن تعداد افراد تخلیه‌شده و همچنین مینیمم‌سازی هزینه‌ها بود. سلمان و گل (Salman & Gül, 2014) یک مدل چند دوره‌ای را برای بهینه‌سازی مکان و حمل‌ونقل مصدومان باهدف به حداقل رساندن مجموع وزن کل زمان سفر و انتظار برای مصدومان و کل هزینه‌های استقرار امکانات جدید پیشنهاد کردند. با کسب منابع بیشتر در طول زمان، راه‌حل به‌روز شده می‌تواند به تخصیص ظرفیت بیشتر برای بهبود سطح خدمات منجر شود. نجفی و همکاران (Najafi et al., 2014) یک مدل پویای چند هدفِ برای برنامه‌ریزی هم‌زمان حمل‌ونقل کالا به مناطق آسیب‌دیده و انتقال مصدومان به بیمارستان‌ها پس از زلزله توسعه دادند. انواع مختلفی از وسایل نقلیه مربوط به کالا و مصدومان (هلیکوپتر، کامیون، آمبولانس و قطار) وجود دارد. آن‌ها به‌طور سلسله مراتبی کل زمان رسیدن مصدوم به بیمارستان و کل زمان برای برآوردن نیازهای کالایی را به حداقل رساندند. این مدل می‌تواند به‌صورت پویا مسیر وسایل نقلیه در مسیر را برای زمان پاسخ کوتاه‌تر تغییر دهد. آن‌ها تأثیر ساختار شبکه و تعداد بیمارستان‌ها و تأمین‌کنندگان را بر عملکرد مدل بررسی کردند. ناو بانرجی (Na & Banerjee, 2015) یک مدل تخصیص حمل‌ونقل برای تخصیص مصدومان به تسهیلات را پیشنهاد کردند که در آن تعداد نجات‌یافتگان و کل هزینه تخلیه به‌طور هم‌زمان بهینه می‌شود. محل‌های موقتی برای انتقال مصدومان به پناهگاه‌هایی مانند مراکز درمانی در نظر گرفته شد. آن‌ها انواع وسایل نقلیه و چندین دسته منابع امدادی را در نظر گرفتند. کمالی و همکاران (Kamali et al., 2017) مسئله اولویت‌بندی منابع مبتنی بر اولویت‌بندی مصدومان را برای ارائه خدمات توسط گروه پزشکی و انتقال توسط آمبولانس به بیمارستان‌ها موردمطالعه قراردادند. آن‌ها ساختار راه‌حل بهینه را تجزیه‌وتحلیل کردند و عملکرد آن را با روش فعلی و سایر مدل‌های مرتبط مقایسه کردند. اگرچه در برخی موارد اولویت‌بندی مصدومان ممکن است مطلوب باشد، اما در بسیاری دیگر مطلوب نیست یا برخی دیگر از استراتژی‌های ترکیبی به‌طور قابل‌توجهی بهتر عمل می‌کنند.

یدالله نژاد و همکاران (Yadollahnejad et al., 2017) یک رویکرد چندمنظوره را برای شناسایی زخمی‌ها، مسیریابی و تعداد وسایل نقلیه برای برنامه‌ریزی تخلیه معرفی کردند. آن‌ها با استفاده از یک مدل تخصیص مسیریابی دو هدفِ تلاشی برای کاهش زمان کل عملیات نجات و هزینه کلی آماده‌سازی وسایل نقلیه امدادرسانی به فاجعه کردند. همچنین تصمیمات چالش‌برانگیز در مورد تعداد و مسیریابی وسایل نقلیه امدادی، اختصاص افراد زخمی به وسایل نقلیه موجود و انتقال مجروحان از نقاط بحران‌زده به مراکز درمانی اتخاذ کردند. سه هدف اصلی در این مقاله دنبال شد که عبارت‌اند از:

۱) مقابله با بیمارانی که از آسیب‌های مختلف رنج می‌برند.
۲) محدودیت‌های زمانی متناسب با سطح آسیب آن‌ها (پنجره زمان انتقال)
۳) دسترسی هم‌زمان به خطوط زمینی و هوایی حمل‌ونقل
۴) امکان انتقال بیماران با سطوح مختلف آسیب به کلینیک‌های تعیین‌شده توسط یک وسیله نقلیه در یک‌زمان (Kamaliet al., 2017)

صبوحی و همکاران (Sabouhi et al., 2019) یک مدل احتمالی چند هدفِ قوی برای مکان‌یابی نقاط انتقال و پناهگاه‌ها، انتقال مصدومان به بیمارستان‌ها، انتقال افراد تخلیه‌شده به سرپناه‌ها و تخصیص کالاهای امدادی تهیه کردند. در این مدل مینیمم سازی حداکثر زمان انتقال به سرپناه‌ها، نقاط انتقال و بیمارستان‌ها و حداکثر زمان توزیع کالاهای امدادی محقق شد. این مدل قوی مقادیر انحراف استانداردی به دست آورد. درنهایت، بهترین مقادیر ظرفیت پناهگاه‌ها و نقاط انتقال و کل زمان خدمات توصیه شد. قاسمی و همکاران (Ghasemi et al., 2019) یک مدل تخصیص- مکان‌یابی مبتنی بر سناریو را در یک شبکه لجستیک بشردوستانه برای به حداقل رساندن هزینه-های مربوط به کمبود منابع امدادی پیشنهاد کردند. مدل با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفِ با استراتژی‌های جستجوی چندگانه، نسخه دوم الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامطلوب و محدودیت اپسیلون حل شد. نتایج برتری روش الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفِ با استراتژی‌های جستجوی چندگانه را نشان داد. عالی زاده و همکاران (Alizadeh et al., 2021) باهدف

بررسی یک مسئله مکان حداکثر پوشش چندمرحله‌ای با پیکربندی انواع مختلف امکانات را ارائه کردند. مدل پیشنهادی می‌تواند کاربردهایی مانند قرار دادن مراکز اورژانس و بیمارستان‌ها و در شرایط بحران برای مراکز خدمات بحران داشته باشد. تصور شده است که امکانات شامل واحدهای مختلفی باشد که ماژول نامیده می‌شوند. ماژول‌ها اندازه‌های متفاوتی دارند و می‌توانند در طول افق برنامه‌ریزی با توجه به تغییرات تقاضا بین امکانات منتقل شوند. شاه و همکاران (Shaw et al., 2022) مسئله مکان‌یابی تخصیص برای توزیع منبع تحت عدم قطعیت در عملیات امدادرسانی را تحقیق کردند. آن‌ها مدل لجستیک بشردوستانه را با پارامترهای فازی و روش فازی تاپ سیس تحلیل کردند. اونگو و همکاران (Onggo et al., 2022) مسئله مکان‌یابی تجهیزات برای پاسخ به حوادث را مدل‌سازی و حل کردند و یک مدل با رویکرد هیبریدی روی مکان بهینه تجهیزات مرتبط (انبارها) تمرکز نمودند زیرا بر عملیات بشردوستانه بعدی اثرگذار است. آن‌ها یک مسئله مکان‌یابی تسهیلات استوکاستیک (احتمالی) را در نظر گرفتند و تلاش نمودند که زمان لازم برای خدمت‌رسانی و زمان سفر را کمینه نمایند. به خاطر عدم اطمینانی شرایط مسیر و جاده زمان سفر را احتمالی در نظر گرفتند. یورک و همکاران (Yoruk et al., 2023) در ترکیه بر روی فعالیت پیشگیرانه مکان‌یابی ایستگاه‌های حوادث محلی تحقیق نمودند. ایستگاه‌های مذکور شامل اقلام امدادرسانی اضطراری نظیر چادر، دارو و کالاهای کنسروی و غیره می‌باشند؛ اما باید به‌صورت ادواری اقلام دارای تاریخ انقضا و کالاهای فاسدشدنی، جایگزین شوند. لذا برای حل مسئله یک مدل MILP توسعه دادند و ابتدا مکان‌یابی ایستگاه‌های امدادی که کمینه کند ماکزیمم فاصله بین جمعیت بعد از حادثه را با نزدیک‌ترین ایستگاه حوادث، انجام دهند.

بررسی‌ها نشان می‌دهد، در بسیاری از مطالعات، نوع مجروحین در عملیات تخلیه موردتوجه قرار نگرفته است. تمرکز این پژوهش بر مدل بهینه‌سازی دو هدفِ مکان‌یابی-تخصیص بیمارستان‌ها و پناهگاه‌ها برای تخلیه مردم آسیب‌دیده (توسط دو نوع وسیله نقلیه) با در نظر گرفتن اولویت وضعیت جسمانی آنان است. مدل پیشنهادی تحقیق در فاز آمادگی و پاسخ از چرخه مدیریت بحران در نظر گرفته‌شده و به دلیل برنامه‌ریزی تخلیه (مبتنی بر حمل‌ونقل عمومی) بر روی مدیریت تلفات متمرکز می‌شود.

۳- تعریف مسئله و مدل‌سازی ریاضی

مجروحان و سایر افراد باید از مناطق آسیب‌دیده به بیمارستان‌ها و پناهگاه‌ها تخلیه شوند؛ بنابراین ابتدا باید از بین بیمارستان‌های بالقوه موجود و مکان‌های بالقوه جهت احداث پناهگاه‌ها مشخص شوند که کدام‌یک انتخاب می‌شوند و هر یک چه مناطقی را پوشش می‌دهند سپس جریان بین هر یک از گره‌ها مشخص و تعداد وسایل نقلیه‌ای که به هر یک از این جریان‌ها اختصاص می‌یابد، تعیین شود.

در این مطالعه مردم آسیب‌دیده به سه گروه تقسیم می‌شوند: گروه اول، مردمی که دچار آسیب جدی شده‌اند و باید به بیمارستان‌های انتخاب‌شده توسط اتوبوس آمبولانسی منتقل شوند. گروه دوم، مردمی که دچار آسیب سرپایی شده‌اند نیز باید به بیمارستان‌های انتخاب‌شده توسط اتوبوس آمبولانسی منتقل شوند. گروه سوم، مردمی که آسیبی ندیده‌اند و توسط اتوبوس عادی به پناهگاه‌های احداث‌شده منتقل می‌شوند. در این مدل تخلیه بر اساس اولویت‌بندی جسمی انجام می‌شود؛ یعنی در تخلیه افراد توجه بیشتری به گروه اول نسبت به گروه دوم و همین‌طور گروه دوم به سوم انجام می‌شود. مفروضات در نظر گرفته‌شده برای مسئله عبارت‌اند از:

- سه نوع هزینه ازجمله هزینه عملیات لجستیکی امداد (هزینه جابه‌جایی توسط وسایل نقلیه و هزینه احداث پناهگاه) و هزینه عدم نجات برای هر سه گروه در تابع هدف اول در نظر گرفته‌شده است.
- مکان‌های بالقوه جهت احداث پناهگاه‌ها وجود دارد و مکان‌های بیمارستان‌ها مشخص و احداث‌شده‌اند و فقط از بین بیمارستان‌های کاندید انتخاب انجام می‌شود؛ بنابراین مکان‌یابی برای هر دو نوع تسهیلات به‌صورت گسسته انجام می‌شود.

- فاصله بین مناطق آسیب‌دیده، بیمارستان‌ها و پناهگاه‌ها مشخص است.
- ظرفیت هر دو نوع وسیله نقلیه برای جابه‌جایی مردم آسیب‌دیده مشخص است.
- ظرفیت بیمارستان‌ها جهت ارائه خدمات به گروه اول و دوم مشخص و محدود است.
- در نظر گرفتن حداکثر شعاع پوشش برای هر بیمارستان و هر پناهگاه

۳-۱- مدل‌سازی ریاضی مسئله

در این پژوهش، یک مدل بهینه‌سازی دو هدفِ مکان‌یابی-تخصیص بیمارستان‌ها و پناهگاه‌ها برای تخلیه مردم آسیب‌دیده (توسط دو نوع وسیله نقلیه) با در نظر گرفتن اولویت وضعیت جسمانی ارائه می‌شود. این مدل در فاز آمادگی و پاسخ از چرخه مدیریت بحران قرار دارد و همچنین تمرکز آن به دلیل برنامه‌ریزی تخلیه (مبتنی بر حمل‌ونقل عمومی) بر روی مدیریت تلفات می‌باشد.

به‌طورکلی، دو نوع تابع هدف در مدیریت بلاهای طبیعی وجود دارد:

۱) تابع هدف هزینه

۲) تابع هدف بشردوستانه مانند توزیع عادلانه خدمات

برخی فقط توابع هدف هزینه را در نظر گرفته‌اند و برخی فقط توابع هدف بشردوستانه. در برخی از مطالعات هر دو نوع تابع هدف در نظر گرفته می‌شود. در مدل ارائه‌شده در این تحقیق دو تابع هدف در نظر گرفته می‌شود. تابع هدف اول حداقل سازی هزینه‌های حمل مجروحین، هزینه عدم امدادرسانی و هزینه احداث پناهگاه است. تابع هدف دوم حداقل سازی مجموع نسبت مردم تخلیه نشده در هر گروه است. به‌منظور مدل‌سازی مسئله مطرح‌شده، اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم‌گیری به‌صورت زیر تعریف می‌شوند.

۳-۲-اندیس‌ها

$a = \{1, \dots, A\}$	مجموعه مناطق آسیب‌دیده
$s = \{1, \dots, S\}$	مجموعه نقاط کاندید پناهگاه موقت
$h = \{1, \dots, H\}$	مجموعه نقاط کاندید برای بیمارستان
$v = \{1, \dots, V\}$	مجموعه وسیله نقلیه اتوبوس آمبولانس
$v' = \{1, \dots, V'\}$	مجموعه وسیله نقلیه نوع اتوبوس عادی

۳-۳-پارامترها

dem_a	تعداد افراد آسیب‌دیده گروه اول در منطقه $a \in A$
dem'_a	تعداد افراد آسیب‌دیده گروه دوم در منطقه $a \in A$
dem''_a	تعداد مردم بدون آسیب در منطقه آسیب‌دیده
np_h	تعداد تخت‌های موجود در بیمارستان $h \in H$ برای افراد آسیب‌دیده گروه اول
np'_h	تعداد تخت‌های موجود در بیمارستان$\mathrm{h} \in \mathrm{H}$ برای افراد آسیب‌دیده گروه دوم
np''_s	ظرفیت پناهگاه موقت در پناهگاه $s \in S$
$Capv$	ظرفیت وسیله نقلیه v (اتوبوس آمبولانسی)
$Capv'$	ظرفیت وسیله نقلیه v' (اتوبوس عادی)
d_{ah}	تعداد افراد آسیب‌دیده گروه اول در $a \in A$
d_{as}	فاصله بین منطقه $a \in A$ و پناهگاه $s \in S$
dh_{max}	حداکثر فاصله پوششی هر بیمارستان تا منطقه آسیب‌دیده
dsh_{max}	حداکثر فاصله پوششی هر پناهگاه تا منطقه آسیب‌دیده
CV	هزینه سفر وسیله نقلیه نوع v به ازای واحد فاصله
CV'	هزینه سفر وسیله نقلیه نوعv' به ازای واحد فاصله
CZ_s	هزینه احداث پناهگاه در گره بالقوه s (با توجه به محل بالقوه احداث دو نوع هزینه)
Cf	هزینه عدم نجات (تخلیه) مجروحین گروه اول
Cf'	هزینه عدم نجات (تخلیه) مجروحین گروه دوم
Cf''	هزینه عدم نجات (تخلیه) مجروحین گروه سوم
φ	اولویت تخلیه گروه اول
φ'	اولویت تخلیه گروه دوم
φ''	اولویت تخلیه گروه دوم

۳-۴- متغیرها

Z_h	تعداد مردم آسیب‌دیده گروه اول در $a \in A$
Z'_s	تعداد مردم آسیب‌دیده گروه دوم در $a \in A$
ZZ_{ah}	اگر از $a \in A$ به بیمارستان$h \in H$ تخصیص داده شود، یک و در غیر این صورت صفر است.
ZZ'_{as}	اگر از $a \in A$ به پناهگاه $s \in S$ تخصیص داده شود، یک و در غیر این صورت صفر است.
Veh_{ahv}	تعداد دفعات استفاده از وسیله نقلیه (نوع اول) v که از نقطه $a \in A$ به بیمارستان$h \in H$ می‌رود.
$Veh'_{asv'}$	تعداد دفعات استفاده از وسیله نقلیه (نوع دوم) v' که از نقطه $a \in A$ به پناهگاه $s \in S$ می‌رود.
X_{ah}	تعداد افراد مجروح گروه اول انتقال‌یافته از نقطه $a \in A$ به بیمارستان $h \in H$

X'_{sh}	تعداد افراد مجروح گروه دوم انتقال‌یافته از نقطه $a \in A$ به بیمارستان $h \in H$
X''_{ss}	تعداد افراد بدون آسیب انتقال‌یافته از گره $a \in A$ به پناهگاه $s \in S$
XN_a	تعداد افراد مجروح گروه اول که از نقطه $a \in A$ تخلیه نشده‌اند.
XN'_a	تعداد افراد مجروح گروه دوم که از نقطه $a \in A$ تخلیه نشده‌اند.
XN''_a	تعداد افراد مجروح گروه سوم که از نقطه $a \in A$ تخلیه نشده‌اند.

توابع هدف و محدودیت‌ها به شرح زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned} \min Z_1 = CV \sum_{a=1}^{A}\sum_{h=1}^{H}\sum_{v=1}^{V} d_{ah} Veh_{ahv} \\ + CV' \sum_{a=1}^{A}\sum_{s=1}^{S}\sum_{v'=1}^{V'} d'_{as} Veh'_{as'} \\ + \sum_{a=1}^{A}(Cf XN_a + Cf' XN'_a \\ + Cf'' XN''_a) + \sum_{s=1}^{S} CZ_s Z'_s \end{aligned} \qquad (۱)$$

$$\min Z_2 = \sum_{a=1}^{A} \varphi \frac{XN_a}{dem_a} + \sum_{a=1}^{A} \varphi' \frac{XN'_a}{dem'_a} + \sum_{a=1}^{A} \varphi'' \frac{XN''_a}{dem''_a} \qquad (۲)$$

$$\sum_{a\in A} X_{ah} \le Z_h\, np_h \qquad \forall h \in H \qquad (۳)$$

$$\sum_{a\in A} X'_{ah} \le Z_h\, np'_h \qquad \forall h \in H \qquad (۴)$$

$$\sum_{a\in A} X''_{as} \le Z'_s\, np''_s \qquad \forall s \in S \qquad (۵)$$

$$\sum_{h\in H} ZZ_{ah} \ge 1 \qquad \forall a \in A \qquad (۶)$$

$$\sum_{s\in S} ZZ'_{as} \ge 1 \qquad \forall a \in A \qquad (۷)$$

$$ZZ_{ah} \le Z_h \qquad \forall a \in A, h \in H \qquad (۸)$$

$$ZZ'_{as} \le Z'_s \qquad \forall a \in A, s \in S \qquad (۹)$$

$$dem_a = \sum_{h\in H} ZZ_{ah} X_{ah} + XN_a \quad \forall a \in A \qquad (۱۰)$$

$$dem'_a = \sum_{h\in H} ZZ_{ah} X'_{ah} + XN'_a \quad \forall a \in A \qquad (۱۱)$$

$$dem''_a = \sum_{s\in S} ZZ_{as} X''_{as} + XN''_a \quad \forall a \in A \qquad (۱۲)$$

$$X_{ah} + X''_{ah} \le M ZZ_{ah} \qquad \forall a \in A, h \in H \qquad (۱۳)$$

$$X''_{as} \le M ZZ'_{as} \qquad \forall a \in A, s \in S \qquad (۱۴)$$

$$d_{ah} Z_h \le dh_{max} \qquad \forall a \in A, h \in H \qquad (۱۵)$$

$$d'_{as} Z'_s \le dsh_{max} \qquad \forall a \in A, s \in S \qquad (۱۶)$$

$$X_{ah} + X'_{ah} \le \sum_{v\in V} Capv Veh_{ahv} \; \forall a \in A, h \in H \qquad (۱۷)$$

$$X''_{as} \le \sum_{v'\in V'} Capv' Veh'_{asv'} \qquad \forall a \in A, s \in S \qquad (۱۸)$$

$$\sum_{v\in V} Veh_{ahv} \le M ZZ'_{ah} \qquad \forall a \in A, h \in H \qquad (۱۹)$$

$$\sum_{v'\in V'} Veh'_{asv'} \le M ZZ'_{as} \qquad \forall a \in A, s \in S \qquad (۲۰)$$

$$\begin{aligned} & Z_h, Z'_{ah}, ZZ''_{as} \in \{0,1\} \\ & Veh_{ahv}, Veh'_{asv'}, X_{ah}, X'_{ah}, X''_{as} \ge 0 \text{ and int} \end{aligned} \qquad (۲۱)$$

تابع هدف اول (۱) بیانگر کمینه کردن هزینه‌ها که شامل هزینه حمل مجروحین توسط وسایل نقلیه (درواقع مینیمم سازی هم‌زمان هزینه و مسافت می‌باشد) و هزینه عدم امدادرسانی (تخلیه) برای هر گروه و همچنین هزینه احداث پناهگاه‌ها می‌باشد. تابع هدف دوم (۲) بیانگر مینیمم‌سازی مجموع نسبت مردم تخلیه نشده از هر گروه به ازای همه گره‌ها در وزن یا همان اولویت گروه می‌باشد. این تابع هدف از مطالعه قاسمی و همکاران (Ghasemi et al., 2019) اقتباس‌شده است. محدودیت‌های مکان‌یابی تسهیلات: دو محدودیت (۳) و (۴) تضمین‌کننده رعایت ظرفیت بیمارستان‌ها پس از وقوع بحران می‌باشد. محدودیت (۵) تضمین‌کننده رعایت ظرفیت پناهگاه‌ها پس از وقوع بحران می‌باشد. محدودیت (۶) و (۷) تضمین می‌کند که هر یک از مناطق زلزله‌زده باید حداقل توسط یکی از بیمارستان‌ها و از پناهگاه‌ها پوشش داده شود. محدودیت (۸) تضمین می‌کند که ابتدا باید یک بیمارستان انتخاب شود، سپس یک منطقه آسیب‌دیده به آن اختصاص یابد. محدودیت (۹) تضمین می‌کند که ابتدا باید یک پناهگاه احداث شود، سپس یک منطقه آسیب‌دیده به آن اختصاص یابد. محدودیت‌های جریان: محدودیت (۱۰) مربوط به جریان افراد آسیب‌دیده گروه اول در هر منطقه آسیب‌دیده است و همچنین تعداد افرادی را که از هر منطقه آسیب‌دیده تخلیه نشده‌اند را تعیین می‌کند. محدودیت (۱۱) مربوط به جریان افراد آسیب‌دیده گروه دوم در هر منطقه آسیب‌دیده است و همچنین تعداد افرادی را که از هر منطقه آسیب‌دیده تخلیه نشده‌اند را تعیین می‌کند. محدودیت (۱۲) مربوط به جریان افراد آسیب‌دیده گروه سوم در هر منطقه آسیب‌دیده است و همچنین تعداد افرادی را که از هر منطقه آسیب‌دیده تخلیه نشده‌اند را تعیین می‌کند. محدودیت (۱۳) تضمین می‌کند که اگر منطقه‌ای به بیمارستان اختصاص داده شود، جریان بین منطقه آسیب‌دیده و بیمارستان اتفاق می‌افتد. محدودیت (۱۴)

تضمین می‌کند که اگر منطقه‌ای به پناهگاه اختصاص داده شود، جریان بین منطقه آسیب‌دیده و پناهگاه اتفاق می‌افتد. محدودیت (۱۵) تضمین می‌کند که تخصیص جریان برای مناطق آسیب‌دیده و بیمارستان‌ها، زمانی اتفاق می‌افتد که فاصله بین آن‌ها کمتر از فاصله پوشش باشد. محدودیت (۱۶) تضمین می‌کند که تخصیص جریان برای مناطق آسیب‌دیده و پناهگاه‌ها، زمانی اتفاق می‌افتد که فاصله بین آن‌ها کمتر از فاصله پوشش باشد. محدودیت (۱۷) تضمین‌کننده ظرفیت ماشین در جابه‌جایی مردم از گره مناطق آسیب‌دیده به بیمارستان‌ها می‌باشد. محدودیت (۱۸) تضمین‌کننده ظرفیت ماشین در جابه‌جایی مردم از گره مناطق آسیب‌دیده به پناهگاه‌ها می‌باشد. دو محدودیت (۱۹) و (۲۰) تضمین‌کننده این است که اگر تخصیص تسهیلات بین دو گره اتفاق نیفتاد، تخصیص ماشین نیز اتفاق نمی‌افتد. محدودیت (۲۱) نوع متغیرهای تصمیم مدل را مشخص می‌کند.

۴- الگوریتم ژنتیک پیشنهادی

در ابتدا جهت بررسی درستی و کارکرد مدل پیشنهادی، مدل با استفاده از روش محدودیت اپسیلون در نرم‌افزار گمز کد نویسی شد. جهت حل مدل ارائه‌شده از نسخه دوم الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب استفاده می‌شود. این الگوریتم یکی از پرکاربردترین و قدرتمندترین الگوریتم‌های موجود برای حل مسائل چندهدفه می‌باشد. در یک الگوریتم ژنتیک هر جواب با استفاده از یک ساختار نشان داده می‌شود. این ساختار خصوصیات جواب را نشان می‌دهد. درروند کار الگوریتم یک جمعیت از جواب‌ها تولیدشده و برای هر یک از جواب‌ها مقدار توابع هدف که کیفیت جواب موردنظر را نشان می‌دهد، محاسبه می‌شوند. سپس بر اساس یک روش انتخاب، مجموعه‌ای از والدین برای انجام تقاطع و جهش انتخاب می‌شوند. این فرآیند تا زمان رسیدن به‌شرط خاتمه تکرار می‌شود. این نکته که کارایی هر الگوریتم تا حد زیادی به موارد یادشده و همچنین به انتخاب صحیح عملگرها و پارامترهای آن بستگی دارد. موارد یادشده برای الگوریتم پیشنهادی به‌کاررفته جهت استفاده در این پژوهش در ادامه توضیح داده می‌شود.

۴-۱- نحوه نمایش جواب

کارایی یک الگوریتم و کیفیت جواب‌های خروجی وابسته به نحوه نمایش جواب دارد. این نحوه نمایش باید به‌گونه‌ای باشد که بتواند به‌راحتی فضای جواب را جستجو کند. نمایش جواب در مسائل بهینه‌سازی را می‌توان به دودسته کلی نمایش جواب گسسته و پیوسته تقسیم‌بندی کرد. در الگوریتم پیشنهادی از نمایش جواب گسسته تک‌بعدی برای متغیر مکان‌یابی بیمارستان‌ها و پناهگاه‌ها و نمایش جواب پیوسته برای متغیر جریان سه گره بین گره‌ها استفاده‌شده است. مثالی از نمایش این دو نوع کروموزوم در شکل **۵** و **۶** با در نظر گرفتن سه منطقه آسیب‌دیده، پنج بیمارستان و شش پناهگاه نشان داده‌شده است. از این مثال برای توضیح بخش‌های بعدی نیز استفاده می‌شود.

نحوه نمایش کروموزوم برای متغیر مکان‌یابی										
۱	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰
h					s					

شکل (۵): نحوه نمایش جواب به‌صورت گسسته تک‌بعدی برای مکان‌یابی تسهیلات.

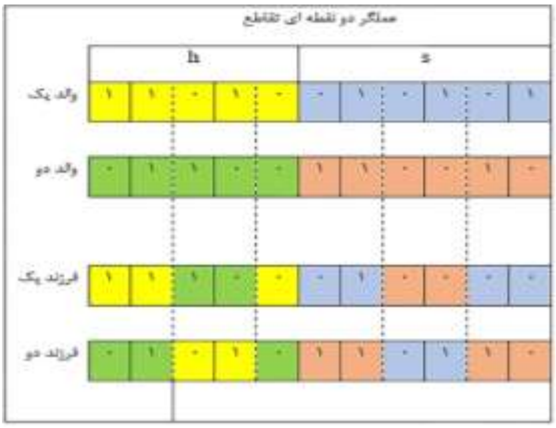
	a			
h_1	۰.۵۱	۰.۷۲	۰.۵۲	نحوه نمایش کروموزوم برای نمایش متغیر جریان بین گره‌ها
	۰.۲۷	۰.۶۰	۰.۵۲	
	۰.۱۶	۰.۶۳	۰.۱۰	
	۰.۳۲	۰.۸۵	۰.۱۸	
	۰.۵۷	۰.۸۱	۰.۶۸	
h_2	۰.۰۷	۰.۳۷	۰.۲۰	
	۰.۵۳	۰.۲۰	۰.۸۳	
	۰.۱۷	۰.۲۵	۰.۵۷	
	۰.۳۶	۰.۴۳	۰.۳۰	
	۰.۱۵	۰.۷۴	۰.۶۲	
s	۰.۴۴	۰.۶۷	۰.۵۰	
	۰.۸۴	۰.۰۶	۰.۵۲	
	۰.۶۴	۰.۴۳	۰.۴۰	
	۰.۹۴	۰.۷۶	۰.۴۸	
	۰.۴۸	۰.۵۷	۰.۸۵	
	۰.۸۲	۰.۸۵	۰.۸۳	

شکل (۶): نحوه نمایش جواب به‌صورت پیوسته دوبعدی برای جریان بین گره‌ها.

کروموزوم ارائه‌شده در این مطالعه برای متغیر جریان مردم جابه‌جاشده دوبعدی می‌باشد که عرض آن به تعداد مناطق آسیب‌دیده و طول آن مجموع تعداد پناهگاه‌ها و دو برابر تعداد بیمارستان‌ها می‌باشد. این کروموزوم شامل سه بخش یعنی جریان بین مناطق آسیب‌دیده (ردیف‌ها) و بخش اول بیمارستان (گروه آسیب‌دیده شدید)، جریان بین مناطق آسیب‌دیده و بخش دوم بیمارستان (گروه آسیب‌دیده سرپایی)، جریان بین مناطق آسیب‌دیده و پناهگاه‌ها می‌باشد. برای خانه‌های این کروموزوم به‌صورت رندم مقداری بین صفرتا یک در نظر گرفته‌شده است، به این معنا که چند درصد از تقاضای مناطق آسیب‌دیده به بیمارستان و پناهگاه رفته‌اند. برای مثال در شکل **۶** از منطقه آسیب‌دیده یک به بخش اول بیمارستان شماره یک ۵۲٪ تقاضای گروه اول، به شماره دو ۵۲٪ تقاضای گروه اول و به شماره سه ۱۰٪ تقاضای گروه اول رفته‌اند. به همین ترتیب برای بخش دوم بیمارستان‌ها و پناهگاه‌ها نیز این اعداد تفسیر و ضرب‌در تقاضای گروه خود می‌شوند.

۴-۲- عملگر تقاطع

تعریف عملگر تقاطع باید با توجه به نوع کروموزوم انجام شود، به این معنا که وقتی نحوه نمایش جواب به‌صورت پیوسته یا گسسته بود، باید عملگر تقاطع به ترتیب پیوسته یا گسسته باشد. این عملگر برای مکان‌یابی تسهیلات در شکل **۷** به‌صورت گسسته یعنی ترکیب دونقطه‌ای انجام می‌شود.



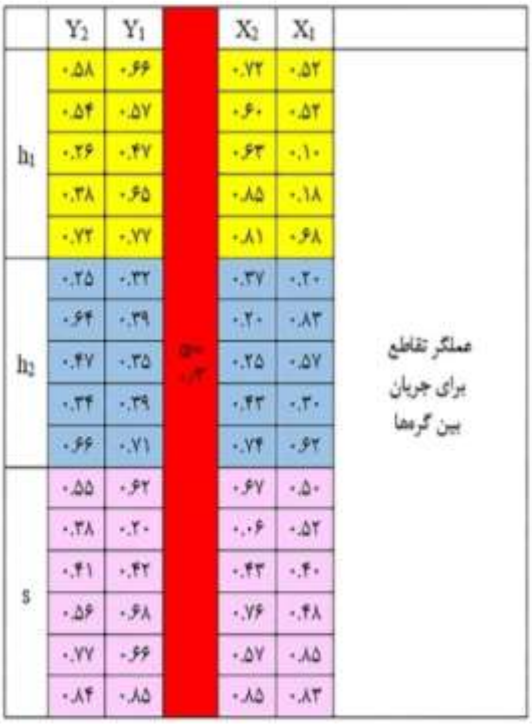
شکل (۷): عملگر تقاطع برای مکان‌یابی تسهیلات.

این عملگر برای جریان بین گره‌ها به‌صورت یک ترکیب خطی (رابطه ۲۲ و ۲۳) از دو والد و تولید دو فرزند می‌باشد. مقدار آلفا به‌صورت تصادفی عددی بین صفرتا یک انتخاب می‌شود. Y_1 و Y_2 مقدار فرزند اول و دوم، X_1 و X_2 نیز مقدار دو والد می‌باشد. درنهایت مقادیر تولیدشده برای دو فرزند باید چک شود که مقدار آن بین صفرتا یک باشند.

$$Y_1 = \alpha X_1 + (1-\alpha) X_2 \qquad (۲۲)$$

$$Y_2 = \alpha X_2 + (1-\alpha) X_1 \qquad (۲۳)$$

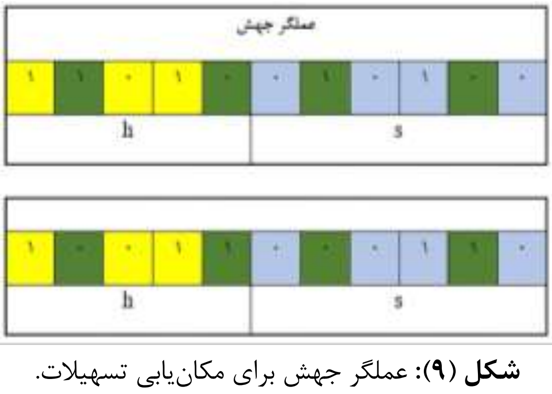
مثالی از عملکرد این عملگر در شکل **۸** آورده شده است. برای مثال α مقدار ۳٪ را در نظر گرفته‌شده است.



شکل (۸): عملگر تقاطع برای جریان بین گره‌ها.

۴-۳- عملگر جهش

این عملگر برای مکان‌یابی تسهیلات به‌صورت شکل **۹** انجام می‌شود.



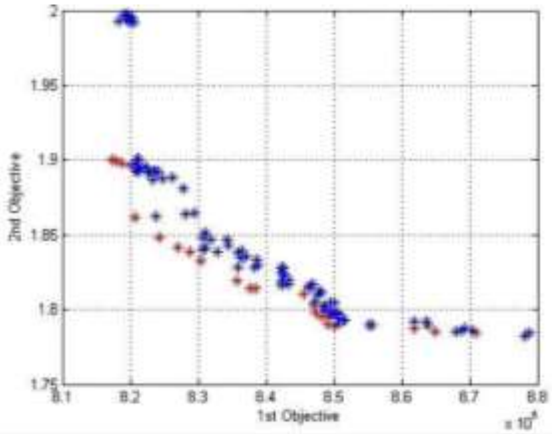
شکل (۹): عملگر جهش برای مکان‌یابی تسهیلات.

۵- نمونه موردمطالعه

تهران یکی از مستعدترین شهرهای زلزله‌خیز جهان محسوب می‌شود. در این پژوهش از الگوریتم نسخه دوم الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب برای مطالعه منطقه ۶ تهران استفاده‌شده است. اطلاعات موردنیاز نظیر ناحیه منطقه ۶ و مکان‌های بالقوه جهت احداث پناهگاه از سایت پیشگیری و مدیریت بحران تهران استخراج‌شده است. اسامی بیمارستان‌ها، مراکز ناحیه‌ها، پناهگاه‌ها و محاسبه مساحت پناهگاه‌ها از سایت نقشه تهران استخراج‌شده است. در این مطالعه ۱۴ منطقه و ۳۵ بیمارستان و ۵۳ مکان بالقوه جهت احداث پناهگاه و دو نوع ماشین (ظرفیت اتوبوس و آمبولانس به ترتیب ۳۵ و ۱۵) در نظر گرفته‌شده است. اولویت نجات به ترتیب شدید تا بدون آسیب ۰/۶، ۰/۳ و ۰/۱ است. اسامی نواحی منطقه ۶، مراکز و بیمارستان‌ها در جداول **۱** و **۲** می‌باشد.

۶- یافته‌های پژوهش

پس از واردکردن داده‌های یادشده در نرم‌افزار متلب و اجرای الگوریتم، جبهه پارتو و جواب‌های حاصل از حل الگوریتم خروجی نرم‌افزار خواهد بود. در شکل **۱۰** جبهه پارتو بارنگ قرمز نمایش داده‌شده است. سپس از بین جواب‌های جبهه پارتو سعی می‌شود یکی از بهترین‌ها انتخاب شود، در اینجا جواب پارتوی (۱/۸۳۵، ۱۰۵×۸/۳) انتخاب می‌شود. زمان اجرای الگوریتم در نرم‌افزار متلب ۵۲۶/۴۶۸ ثانیه می‌باشد. در انتها مشخص می‌شود که کدام‌یک از بیمارستان‌ها و پناهگاه‌ها انتخاب و هرکدام چه مناطقی را تحت پوشش قرار می‌دهند. اطلاعات موجود در جدول **۳** نشان می‌دهد که هر ناحیه توسط چه بیمارستان‌هایی تحت پوشش قرارگرفته است. تخصیص بیمارستان‌ها به ناحیه‌ها در نقشه‌ی منطقه شش تهران در شکل **۱۱** نمایش داده‌شده است. نتایج دیگری که از مطالعه این نمونه حاصل می‌شود، جریان جابه‌جایی بین گره‌ها و تعداد افراد باقیمانده از گروه می‌باشد.



شکل (۱۰): جواب‌های جبهه پارت وی نمونه مطالعه شده- نقاط قرمز جبهه پارتو و آبی نقاط مغلوب‌شده.

جدول (۱): اسامی و مراکز نواحی منطقه شش تهران

شماره	ناحیه	مساحت	مرکز
۱	امیرآباد	۲/۷۶	۵۱/۳۹ و ۳۵/۷۳
۲	ایرانشهر	۱/۰۱	۵۱/۴۲ و ۳۵,۷۰
۳	بهجت‌آباد	۰/۹۱	۵۱/۴۱ و ۳۵/۷۱
۴	پارک لاله (کشاورز)	۱/۴۷	۵۱/۳۹ و ۳۵/۷۱
۵	جهاد	۰/۷۸	۵۱/۴۰ و ۳۵/۷۲
۶	جمال‌زاده	۱/۴۶	۵۱/۳۸ و ۳۵/۷۰
۷	دانشگاه تهران (وصال شیرازی)	۱/۲۳	۵۱/۳۹ و ۳۵/۷۰
۸	ساعی	۲/۵۹	۵۱/۴۱ و ۳۵/۷۴
۹	سنایی	۱/۲	۵۱/۴۲ و ۳۵/۷۲
۱۰	فاطمی	۲/۲۰	۵۱/۳۸ و ۳۵/۷۱
۱۱	نظامی گنجوی	۰/۶۱	۵۱/۴۰ و ۳۵/۷۴
۱۲	والفجر	۱/۲۴	۵۱/۳۹ و ۳۵/۷۴
۱۳	ولیعصر	۱/۴۷	۵۱/۴۱ و ۳۵/۷۰
۱۴	یوسف‌آباد	۱/۹۵	۵۱/۴۰ و ۳۵/۷۳

جدول (۲): اسامی بیمارستان‌های منطقه شش تهران

شماره	نام بیمارستان	شماره	نام بیمارستان
۱	آبان	۱۳	تهران کلینیک
۲	آپادانا	۱۴	توس
۳	آریا	۱۵	جم
۴	آسیا	۱۶	حضرت زینب
۵	البرز	۱۷	حضرت فاطمه
۶	امام خمینی	۱۸	دی
۷	ولیعصر	۱۹	ساسان
۸	امام رضا (۵۰۱ ارتش)	۲۰	شریعتی
۹	پانزده خرداد	۲۱	سجاد
۱۰	پارس	۲۲	فیروز گر
۱۱	پاستور نو	۲۳	صدر به آفرین
۱۲	تهران	۲۴	کسری
۱۳	تهران کلینیک	۲۵	کودکان تهران
۱۴	توس	۲۶	محب کوثر
۱۵	جم	۲۷	یاس
۱۶	حضرت زینب	۲۸	مصطفی خمینی
۱۷	حضرت فاطمه	۲۹	مهر
۱۸	دی	۳۰	مهرگان
۱۹	ساسان	۳۱	مرکز طبی کودکان
۲۰	شریعتی	۳۲	مرکز قلب تهران
۲۱	سجاد	۳۳	هاجر تهران (۵۰۳ ارتش تهران)
۲۲	فیروز گر	۳۴	یاس سپید
۲۳	صدر به آفرین	۳۵	گاندی

جدول (۳): بیمارستان‌های تخصیص‌یافته به هر ناحیه

شماره	ناحیه	بیمارستان
۱	امیرآباد	حضرت فاطمه، شریعتی، محب کوثر، مرکز قلب تهران
۲	ایرانشهر	آپادانا، پانزده خرداد، تهران، توس، جم
۳	بهجت‌آباد	آریا، آسیا، پارس، پاستور نو، تهران، حضرت زینب، ساسان، حضرت فاطمه
۴	پارک لاله	البرز، امام خمینی، پارس، ساسان
۵	جهاد	پارس، تهران کلینیک، توس، ساسان، فیروز گر
۶	جمال‌زاده	ولیعصر، امام رضا، شریعتی، مصطفی خمینی، مهر، مرکز قلب تهران
۷	دانشگاه تهران (وصال شیرازی)	امام‌حسینی، ولیعصر، امام رضا، ساسان، سجاد، صدر به آفرین، کودکان تهران، مهر، مرکز طبی کودکان، مرکز قلب تهران، یاس سپید
۸	ساعی	آسیا، پاستور نو، تهران کلینیک، توس، کسری، مهرگان، هاجر، محب کوثر
۹	سنایی	جم، ساسان، سجاد، فیروز گر، یاس
۱۰	فاطمی	شریعتی، صدر به آفرین، مصطفی خمینی، مهر، مرکز طبی کودکان، مرکز قلب تهران
۱۱	نظامی گنجوی	دی، کسری، مهرگان، گاندی
۱۲	والفجر	دی، مهرگان، گاندی
۱۳	ولیعصر	حضرت زینب، فیروز گر، کودکان تهران، یاس، مهر، محب کوثر
۱۴	یوسف‌آباد	کسری، محب کوثر، یاس، هاجر، گاندی



شکل(۱۱): ناحیه‌بندی منطقه شش و مراکز آن‌ها و تخصیص بیمارستان‌ها به مراکز ناحیه‌ها.

۷- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها

در این پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی مختلط عدد صحیح برای مدیریت بحران زلزله ارائه شد. این مدل شامل مکان‌یابی گسسته بیمارستان‌ها و پناهگاه‌ها، سپس تخصیص این تسهیلات به هر منطقه و تخلیه مردم آسیب‌دیده بود. در این مطالعه مردم آسیب‌دیده به سه گروه تقسیم می‌شوند و توسط دو نوع ماشین منتقل می‌شوند. گروه اول شامل مصدومانی که دچار آسیب جدی شده‌اند و گروه دوم مصدومانی با آسیب سرپایی می‌باشند که باید به بیمارستان‌های تخصیص‌یافته به هر منطقه توسط ماشین نوع اول منتقل شوند. گروه سوم، مردمی که آسیبی ندیده‌اند و توسط ماشین نوع دوم به پناهگاه‌های احداث‌شده و تخصیص‌یافته به مناطق منتقل می‌شوند. برای هرکدام از این سه گروه، جریان جابه‌جایی بین گره‌ها در نظر گرفته شد. به هرکدام از این جریان‌های به وجود آمده بین گره‌ها تعدادی ماشین اختصاص یافت. در بعضی از مطالعات اهمیتی به نوع ماشین جهت جابه‌جایی نمی‌شد اما این نکته در کیفیت جابه‌جایی وزنده ماندن گروه اول و دوم اهمیت زیادی دارد، زیرا جهت انتقال این دو گروه توسط ماشین باید از تجهیزاتی خاص در طی جابه‌جایی آن‌ها استفاده شود. در این مطالعه سه نوع هزینه در نظر گرفته‌شده که شامل هزینه جابه‌جایی دو نوع ماشین و هزینه احداث پناهگاه‌ها می‌باشد. می‌دانیم که در مدیریت بحران هدف اصلی کاهش تلفات انسانی می‌باشد، بنابراین هزینه‌ای تحت عنوان عدم نجات برای هر گروه نیز در نظر گرفته شد. همچنین در این پژوهش علاوه بر در نظر گرفتن دو نوع ماشین جهت حمل مردم و نزدیک‌تر شدن مدل به دنیای واقعی، نحوه تخلیه این سه گروه نیز حائز اهمیت می‌باشد. همان‌طور که ذکر شد مردم آسیب‌دیده به سه گروه تقسیم‌بندی شده‌اند، بنابراین تخلیه این سه گروه باید بر اساس اولویت جسمی انجام شود. به این‌گونه که اولویت نجات مردم آسیب‌دیده گروه اول نسبت به دوم بیشتر و دوم نسبت به سوم بیشتر باشد. جهت اعمال این نکته در مدل، تابع هدف دوم بر اساس در نظر گرفتن ضرایب اولویت برای نسبت تعداد نجات نیافته به تعداد کل تقاضای هر گروه در نظر گرفته می‌شود. بنابراین جهت تخلیه مردم آسیب‌دیده علاوه بر تأثیر سه نوع هزینه یادشده، این تابع هدف که بر اساس اولویت نجات می‌باشد نیز اعمال می‌شود. مدل پیشنهادی در منطقه شش تهران اجرا و نتایج گزارش شد. این مدل را می‌توان در کل شهر تهران اجرا کرد و از نتیجه آن جهت مدیریت بحران در زلزله استفاده نمود. به این صورت که قبل از اینکه زلزله‌ای رخ دهد، مسئولین مربوطه آگاه باشند که در کدام مناطق بالقوه جهت احداث پناهگاه باید اقدام شود، همچنین بدانند که کدام بیمارستان‌ها و پناهگاه‌ها وظیفه پوشش دهی به کدام مناطق را دارند و از تلفات پیش‌بینی‌شده ناشی از عدم نجات مردم آگاه باشند و سعی بر بهبود شرایط فوق را قبل از هرگونه زلزله وخیمی داشته باشند.

زمانی که زلزله رخ می‌دهد علاوه بر اینکه ممکن است ساختمان‌های مسکونی دچار آسیب یا تخریب شوند، این امکان برای بیمارستان‌ها نیز وجود دارد. بنابراین در مدل پیشنهادی می‌توان مراکز پشتیبان نیز در نظر گرفت. در مدل پیشنهادی از اولویت تخلیه بر اساس شرایط جسمی استفاده شد که می‌توان از انواع اولویت‌های دیگر نیز استفاده کرد. برای مثال در شهر تهران بافت ساختمان‌ها در همه مناطق یکسان نمی‌باشد، در نتیجه امکان تخریب بیشتری در برخی مراکز با بافت قدیمی وجود دارد. همچنین امکان دارد پراکندگی سنی در برخی مناطق

بسیار متفاوت باشد به این معنا که درصد قابل‌توجهی از ساکنین برخی مناطق در سنین بالا باشند که این نکته در تعداد تلفات تأثیر دارد. بنابراین می‌توان برای هر منطقه‌ای اولویت بافت مناطق و همچنین اولویت پراکندگی سنی در نظر گرفت و با توجه به آن تخلیه را انجام داد. همچنین می‌توان اولویت دسترسی بیشتر یا کمتر هر منطقه به شریان‌های اصلی شهر را نیز در نظر گرفت. به این مدل نیز می‌توان مسیریابی وسایل نقلیه را اضافه کرد. می‌توان مدل را با توجه به گسل‌های موجود در هر منطقه طراحی کرد یعنی شدت زلزله‌ای که ممکن است اتفاق بیفتد و رابطه آن با میزان تخریب ساختمان‌ها را در نظر گرفت. از دیدگاه مدل‌سازی، عواملی از قبیل زمان رسیدن به مجروحان نقش مهمی در افزایش تلفات جانی دارد که می‌تواند در تحقیقات آتی مطالعه شود. از دیدگاه روش حل، مسئله می‌تواند با سایر الگوریتم‌های فرا ابتکاری حل گردد و نتایج حاصل با تست‌های مختلف مقایسه شوند.

۸- مراجع

Alizadeh, R., Nishi, T., Bagherinejad, J., & Bashiri, M. (2021). Multi-Period Maximal Covering Location Problem with Capacitated Facilities and Modules for Natural Disaster Relief Services. *Applied Sciences*, 11(1), 397. DOI: https://doi.org/10.3390/app11010397.

Amideo, A. E., Scaparra, M. P., & Kotiadis, K. (2019). Optimising shelter location and evacuation routing operations: The critical issues. European *Journal of Operational Research*, 279(2), 279-295. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.12.009.

Balcik, B., & Beamon, B. M. (2008). Facility location in humanitarian relief. International *Journal of Logistics Research and Applications*, 11(2), 101–121. DOI: https://doi.org/10.1080/13675560701561789.

Bayram, V. (2016). Optimization models for large scale network evacuation planning and management: A literature review. *Surveys in Operations Research and Management Science*, 21(2), 63–84. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sorms.201.001.

Bish, D. R. (2011). Planning for a bus-based evacuation. *OR Spectrum*, 33(3), 629–654. DOI: https://doi.org/10.1007/s00291-011-0256-1

Caunhye, A. M., Nie, X., & Pokharel, S. (2012). Optimization models in emergency logistics: A literature review. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(1), 4–13. DOI: https://doi.org/10.1016/j.seps.2011.04.004.

Ghasemi, P., Khalili-Damghani, K., Hafezalkotob, A., & Raissi, S. (2019). Uncertain Multi-Objective Multi-Commodity Multi-Period Multi-Vehicle Location-Allocation Model for Earthquake Evacuation Planning. *Applied Mathematics and Computation*, 350, 105–132. DOI: https://doi.org/10.1016/j.amc.2018.12.061.

Ghasemi, P., Khalili-Damghani, K., Hafezalkotob, A., & Raissi, S. (2019). Stochastic optimization model for distribution and evacuation planning (A case study of Tehran earthquake). *Socio-Economic Planning Sciences*, 71(2), 100745. DOI: https://doi.org/10.1016/j.seps.2019.100745.

Kamali, B., Bish, D., & Glick, R. (2017). Optimal service order for mass-casualty incident response. *European Journal of Operational Research*, 261(1), 355–367. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.01.047.

Na, H. S., & Banerjee, A. (2015). A disaster evacuation network model for transporting multiple priority evacuees. *IIE Transactions*, 47(11), 1287–1299. DOI: https://doi.org/10.1080/0740817X.2015.1040929.

Najafi, M., Eshghi, K., & de Leeuw, S. (2014). A dynamic dispatching and routing model to plan/ re-plan logistics activities in response to an earthquake. *OR Spectrum*, 36(2), 323–356. DOI: https://doi.org/10.1007/s00291-012-0317-0.

Onggo, B.S., Martin, X., Panadero, J., Corlu, C.G., Juan, A.A. (2022) Solving Facility Location Problems for Disaster Response Using Simheuristics and Survival Analysis: A Hybrid Modeling Approach. In Proceedings of the 2022 Winter Simulation Conference (WSC). DOI: https//doi.org/10.1109/WSC57314.2022.1001549.

Rolka, A. (2018). Crisis management. In CBRN. Security Manager Handbook (pp. 51-68). Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego. DOI: https://dx.doi.org/10.18778/8142-184-3.03.

Sabouhi, F., Tavakoli, Z. S., Bozorgi-Amiri, A., & Sheu, J.-B. (2019). A robust possibilistic programming multi-objective model for locating transfer points and shelters in disaster relief. *Transportmetrica A: Transport Science*, 15(2), 326–353. DOI: https://doi.org/10.1080/23249935.2018.1477852.

Salman, F. S., & Gül, S. (2014). Deployment of field hospitals in mass casualty incidents. *Computers & Industrial Engineering*, 74, 37–51. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.04.020.

Shaw,L., Kumar Das,S., Kumar Roy, S. (2022). Location-allocation problem for resource distribution under uncertainty in disaster relief operations. *Socio-Economic Planning Sciences*, 82, (Part A, August 2022), 101232. DOI: https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101232.

Yadollahnejad, V., Bozorgi-Amiri, A., & Jabalameli, M. (2017). Allocation and Vehicle Routing for Evacuation Operations: A Model and a Simulated Annealing Heuristic. *Journal of Urban Planning and Development*, 143(4), 4017018. DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.19435444.0000404.

Yoruk, E., Baykasoglu, A., Avci, M.G. (2023) Location and replenishment problems of disaster stations for humanitarian relief logistics along with an application. *Natural Hazards*, 119(3), 1713-1734. DOI: https://doi.org/10.1007/s11069-023-06175-8.